

Beatričė Andziulienė¹, Daiva Stanelytė^{1,2}, Darius Drungilas¹

¹*Klaipėdos universitetas, Informatikos inžinerijos katedra*

H. Manto 84, LT-92294 Klaipėda

²*Klaipėdos valstybinė kolegija*

Bijūnų g. 10, LT-91223 Klaipėda

E. paštas: beata@ik.ku.lt, d.stanelyte@gmail.com, dorition@gmail.com

Santrauka. Darbe pateikiamas matematinis modelis, paremtas daugiakriterinio sprendimo priėmimo metodo analitiniu hierarchiniu procesu, leidžiantis nustatyti kritines geležinkelio tinklo linijas, kurios ateityje stabdys eismo srautų augimą, linijos pralaidumą, eismo intensyvumą bei traukinių judėjimo greitį, eismo linijas, kurios reikalauja atnaujinimo.

Raktiniai žodžiai: geležinkelių transporto sistema, daugiakriterinis sprendimo priėmimas, eismo srautai, pralaidumas.

Įvadas

Sėkminga Lietuvos geležinkelių veikla neįsivaizduojama be šiuolaikiškos, nuolat atnaujinamos infrastruktūros. Tai leidžia integruoti šalies geležinkelius į Europos transporto sistemas, teikti geresnes paslaugas tiek keleiviams, tiek verslui. Lemiamą įtaką vežimų geležinkeliais apimčiai ir krovinių apyvartai turi šalies pramonės ir žemės ūkio produkcijos apimtis ir struktūra, gamybos jėgų pasiskirstymas teritorijoje ir tarprajoniniai ryšiai, produkcijos tiekimo bei realizavimo organizavimas ir specializacija, vežimų planavimo kokybė, susisiekimo kelių ir geležinkelių plėtra, jų tinklas ir krovinių paskirstymas pagal transporto rūšis [2]. IXB transporto koridoriaus geležinkelio linijoje Šiauliai–Klaipėda intensyvėjant traukinių srautui į Klaipėdos uostą, linijai gyvybiškai reikalinga modernizacija – dabartinis jos pralaidumas artėja prie ribos. Geležinkelio linijos Šiauliai–Klaipėda atkarpoje nuo Kužiai iki Kretingos nėra ištisinio dvikelio ruožo, tai apsunkina eismo valdymą – traukiniai gali prasilenkti tik stotyse. Antrųjų kelių statyba padidintų geležinkelio pralaidumą ir keleivinių traukinių greitį, sumažintų traukinių prasilenkimui skiriamą laiką, taupant keleivių ir krovinių vežimo laiką, mažinant avarijų skaičius, triukšmą, taršą. Siekiant apibrėžti mobilios ir infrastruktūros įrangos pakeitimo reikmes, reikia nustatyti nepakankamo pralaidumo ruožus ateities paslaugų teikimui

Darbo tikslas – sudaryti matematinį modelį leidžiantį Lietuvos geležinkelio tinkle nustatyti linijas, kuriose eismo srautų augimas reikalauja atnaujinimo.

1 Geležinkelių eismo valdymo sistema

Krovinių vežimo mastai Lietuvos geležinkeliais su kiekvienais metais didėja 6–8 proc. ir galima prognozuoti, kad eismo srautai ateityje augs [6]. Klaipėdos uosto kryptimi

numatomas spartus krovinių vežimo apimčių didėjimas atsižvelgiant į krovos kompanijų pajėgumus ir jų planus bei AB „Mažeikių nafta“ planuojamą produktotiekį, AB „Lietuvos geležinkeliai“ krovinių vežimų apimtys iki 2020 m. didinamos 2 kartus (nuo 18 mln. t. 2007 metais iki ~37 mln. t. 2020 m.). Pradėjus eksploatuoti giliavandenį uostą (preliminariai nuo 2018–2020 m.) sudaromos prielaidos krovinių vežimų geležinkeliais apimčių didinimui iki ~45–50 mln. t. Klaipėdos uosto krovos kompanijos planuoja ženklų krovos apimčių augimą (iki 40–45 mln. t., o pastačius giliavandenį uostą, iki 55–60 mln. t.). Pagrindinių Lietuvos geležinkelio linijų rekonstrukcijos poreikį lemia būtinybė stiprinti kelią sunkiasvorių prekių traukinių eismui, nepakankamas leistinas traukinių greitis, t.y. esami projekciniai greičio parametrai (keleiviniams traukiniams iki 120 km/h) didintini iki 160 km/h (išskyrus atkarpas, kur leistino greičio padidinimas neracionalus arba labai brangus).

Analizuojant geležinkelio eismo valdymo sistemos efektyvumą nusakančias charakteristikas, nustatyti pagrindiniai sistemos parametrai apsprendžiantys eismo intensyvumą, saugumą, bei ekonomiškumą. Vienas iš pagrindinių efektyvaus eismo valdymo aspektų yra pralaidumas, užtikrinantis tolygų keleivių ir krovinių srautų judėjimą geležinkelio linijomis. Remiantis šiuo aspektu, gali būti atnaujinama geležinkelio infrastruktūra atskirose geležinkelio linijose. Šiuo atveju būtinas daugiakriterinis sprendimo priėmimas – kuri linija bus atnaujinta pirmiausiai ir ar priimtas sprendimas duos didžiausią naudą.

2 Daugiakriterinio uždavinio formulavimas

Sprendimų priėmimas – tai procesas, kurio metu pasirenkama alternatyva arba tam tikrai alternatyvai suteikiamas prioritetas. Alternatyvos pateikia sprendimų priėmėjui skirtingus pasirinkimus, remiantis iš anksto nustatytais kriterijais. Sprendimo priėmimo procesas visada baigiasi konkrečios alternatyvos pasirinkimu, išanalizavus kuo daugiau galimų alternatyvų [7].

Norint išspręsti daugiakriterinį uždavinį visų pirma reikalingos kriterijų reikšmės. Vertinimo kriterijų parinkimas yra svarbus alternatyvų vertinimo etapas, nes teisingai pasirinkti kriterijai užtikrina strateginių tikslų pasiekimą. Kriterijų reikšmės savo turiniu gali būti labai įvairios. Dažniausiai kriterijų reikšmės skirstomos į dvi grupes: kiekybinės ir kokybinės. Kiekybiniai kriterijai yra išreiškiami konkrečiais matavimo vienetais ir alternatyvų įvertinimas atsižvelgiant į kiekybinius kriterijus paprastai abejonių nekelia. Šiuo metu plačiausiai taikomi trys kiekybinių kriterijų reikšmių nustatymo metodai: normatyvinis, skaičiavimo ir analogijos. Alternatyvų įverčiai, atsižvelgiant į kokybinius kriterijus, negali būti išreikšti absoliučiomis reikšmėmis. Dažniausiai naudojami kokybinių kriterijų nustatymo metodai: ekspertinis, sociologinis ir skaičiavimo [8].

Dauguma daugiakriterinių sprendimų analizės metodų reikalauja, kad sprendimų priėmimo kriterijai turėtų reikšmingumo svorius t.y. reikia nustatyti, kurie kriterijai yra svarbesni ir kurie mažiau svarbūs. Paprastai tokie svoriai yra normalizuojami, kad jų suma būtų lygi vienetui. Kriterijų svoriai dažniausiai nustatomi remiantis subjektyviais vertinimais ir perteikia vieno sprendimų priėmėjo nuomonę ar ekspertų grupės apibendrintą nuomonę. Dažniausiai kriterijų reikšmingumo (svorių) nustatymui naudojami porinio palyginimo arba rangavimo metodai [3]. Ekspertinį vertinimą atliekant poromis, siekiama kiekvienoje lyginamojoje poroje nustatyti reikšmingesnį

kriterijų. Vertinimas ir skaičiavimai atliekami matricos forma. Kiekvienas eksperimentas į matricos eilutės ir stulpelio sankirtos tašką įrašo savo įvertinimą (priklausomai nuo naudojamos skalės), kiek i kriterijus svarbesnis už j . Tokiu būdu gaunama porinių palyginimų matrica. Tokia pačia matricos forma pateikiami suminiai visų dalyvavusių ekspertų atsakymų rezultatai. Rangavimo metodu kriterijų reikšmingumai nustatomi tiesioginiu būdu. Naudojamos diskretinių $(1, 2, \dots)$ arba realiųjų skaičių $(25/100, 38/100, \dots)$ skalės. Pavyzdžiui, galima kriterijų reikšmingumus apibrėžti 10 balų skale nuo 1 iki 10. Svarbiausias kriterijus įgyja 10 balų reikšmę. Visi kiti kriterijai yra lyginami su svarbiausiuoju.

3 Eismo srautų modeliavimas

Kriterijų parinkimas. Straipsnyje daugiakriterinis sprendimo priėmimo metodas pritaikytas siekiant numatyti geležinkelio transporto tinklo kritines linijas ribojančias eismo linijų pralaidumą augant krovinių pervežimo apimtims. Pirmiausia apibrėšime alternatyvų, kriterijų (atributų) ir jų svorių sąvokas. Duotame modelyje alternatyvos – geležinkelio linijos kelio ruožai atriboti stotimis arba tarpstotėmis, modelio atributai – eismo valdymo sistemos efektyvumą nusakančios charakteristikos, atributų svoriai – kriterijų reikšmingumas (įtaka) eismo linijos pralaidumui, eismo intensyvumui, krovinių (ir keleivių) judėjimo greičiui. Kompleksiniam vertinimui atlikti pasiūlyta hierarchinė kriterijų sistema visos alternatyvos vertinamas kompleksiskai, atsižvelgiant eismo valdymo efektyvumą veikiančius infrastruktūros, ruožo apkrovos, komunikacijos technologijų panaudojimo, eismo saugumo bei atnaujinimo proceso ekonominius veiksnius. Vertinimo kriterijai pateikti 1 lentelėje. Lentelėje nurodyta

1 lentelė. Eismo srautų modelio atributai.

| Kriterijai | <div> <div>Kelių skaičius tarpstotėse ir stotyse</div> <div>Ruožo ilgis, km.</div> <div>Prekinių traukinių važiavimo trukmė, min</div> <div>Intensyvumas vienam km, tonų NETO</div> <div>Pralaidumas paroje, vagonų sk.</div> <div>Vidutinis sąstatas, vagonų sk. (krovininis)</div> <div>Vidutinis sąstatas, vagonų sk. (keleivinis)</div> <div>Šviesoforų skaičius, vnt</div> <div>Pervažų skaičius, vnt</div> <div>Ruožo vidutinis greitis, km/h (krovininis)</div> <div>Ruožo vidutinis greitis, km/h (keleivinis)</div> <div>Ruožo atnaujinimo kaštai, mln. Lt</div> </div> | | | | | | | | | | | |
|------------|--|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Linija | Optimizavimo kryptis | | | | | | | | | | | |
| | min | max | max | max | min | max | max | max | max | min | min | min |
| A | 1 | 11,8 | 13 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 4 | 1 | 37 | 70 | 77,5 |
| B | 1 | 13,4 | 17 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 11 | 1 | 37 | 70 | 74,1 |
| C | 1 | 8,8 | 10 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 6 | 1 | 37 | 70 | 58,4 |
| D | 1 | 8,2 | 8 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 6 | 0 | 37 | 70 | 53,0 |
| E | 1 | 13,8 | 16 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 11 | 2 | 37 | 70 | 73,0 |
| F | 1 | 10,5 | 22 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 8 | 1 | 37 | 70 | 83,7 |
| G | 1 | 9,1 | 9 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 7 | 0 | 37 | 70 | 59,5 |
| H | 1 | 8,6 | 8 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 7 | 2 | 37 | 70 | 58,0 |
| I | 1 | 13,9 | 13 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 12 | 2 | 37 | 70 | 105,1 |
| J | 1 | 11,1 | 9 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 9 | 1 | 37 | 70 | 82,5 |
| K | 1 | 18,1 | 19 | 2,1 | 55 | 56 | 5 | 16 | 6 | 37 | 70 | 118,6 |
| L | 2 | 4,1 | 4 | 2,1 | 57 | 55 | 5 | 2 | 1 | 39 | 69 | 35,0 |
| M | 2 | 11,9 | 13 | 2,1 | 57 | 55 | 5 | 2 | 2 | 39 | 69 | 105,1 |

2 lentelė. Kriterijų reikšmingumo porinio palyginimo matrica.

| Kriterijus | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|
| 1 | 1 | 5 | 1/2 | 3 | 1/4 | 1/4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 1/3 |
| 2 | 1/5 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 5 | 1/4 | 1/4 | 1/3 |
| 3 | 2 | 5 | 1 | 3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 1/3 |
| 4 | 1/3 | 5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 4 | 4 | 1/3 | 1/3 | 3 |
| 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 6 | 4 | 5 | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| 7 | 1/3 | 5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1/4 |
| 8 | 1/4 | 3 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/3 | 1 | 4 | 4 | 4 | 1/4 |
| 9 | 1/4 | 1/5 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/3 | 1/4 | 1 | 1/4 | 1/4 | 1/4 |
| 10 | 1/3 | 4 | 1/4 | 3 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/4 | 4 | 1 | 1/3 | 4 |
| 11 | 1/3 | 4 | 1/3 | 3 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1/4 | 4 | 3 | 1 | 1/3 |
| 12 | 3 | 3 | 3 | 1/3 | 1/4 | 1/3 | 4 | 4 | 4 | 1/4 | 3 | 1 |

3 lentelė. Kokybinio vertinimo kriterijų prioritetai.

| Kriterijus | Kriterijaus svoris | Prioritetas |
|------------|--------------------|-------------|
| 1 | 0,0893 | 5 |
| 2 | 0,0258 | 11 |
| 3 | 0,1038 | 3 |
| 4 | 0,0750 | 6 |
| 5 | 0,1949 | 1 |
| 6 | 0,1492 | 2 |
| 7 | 0,0631 | 8 |
| 8 | 0,0565 | 10 |
| 9 | 0,0192 | 12 |
| 10 | 0,0654 | 7 |
| 11 | 0,0567 | 9 |
| 12 | 0,1011 | 4 |

optimizavimo kryptis reiškia, kad siektina maksimali (max) arba minimali (min) atributo reikšmė [1].

AHP metodas. Darbe naudotas daugiakriterinio sprendimo priėmimo metodo analitinis hierarchinis procesas, toliau AHP pristatytas L. Saaty (1980). AHP metodas operuoja $m \times n$ matrica, kur m – alternatyvų skaičius, o n – vertinimo kriterijų (atributų) skaičius (1 lentelė). Skaičiavimai atlikti naudojant Matlab programinę įrangą.

Atskirų rodiklių, apibūdinančių eismo ruožą, įtaka nagrinėjamam eismo efektyvumui nevienoda, todėl taikant kiekybinius daugiakriterinius vertinimus labai svarbu nustatyti rodiklių reikšmingumą, t. y. jų svorius. Kriterijų svorių nustatymui buvo naudojamas kriterijų porinio palyginimo metodas [4]. Sudaryta porinio palyginimo $n \times n$ matrica, kurios elementai, ekspertų priskiriamas įvertis apsibrėžtoje vertinimų skalėje nuo 1 – vienodai svarbus ir iki 5 – labai svarbus, tuo tarpu atvirkštinei lyginamų kriterijų porai yra priskiriamos atvirkštinės vertės (2 lentelė). Po to svoriai normalizuojami ir suvidurkinami, taip gaunamas vidutinis kiekvieno kriterijaus svoris ir nustatomi kriterijų prioritetai (3 lentelė).

Optimizavimo uždavinio kiekybinis vertinimas atliekamas pagal tokį algoritmą: kiekvienam kriterijui sudaroma, $m \times m$ porinių palyginimų matrica; nustatoma optimizavimo kryptis – minimumas ar maksimumas; kiekvieno matricos elemento reikšmė apskaičiuojama linijų kiekybinių rodiklių santykį padauginus iš kriterijų vertinimo skalės maksimalios reikšmės.

Matrica normalizuojama, kad bendra alternatyvų vertinimo skalė būtų nuo 0 iki 1 ir paskaičiuojama kiekvienos alternatyvos (linijos) vidutinis įvertis analizuojamo kriterijaus atžvilgiu. Po to, atlikus apibendrinančius skaičiavimus pagal visus kriterijus, gauname bendrą prioritetų vektorių, parodantį kuri/ios eismo linijos yra kritinės t. y. kurios linijos stabdys eismo srautų augimą – linijos pralaidumą, eismo intensyvumą bei traukinių judėjimo greitį – ir reikalingos atnaujinimo [5].

Išvados

Darbe parodyta, kad naudojant matematinį modeliavimą, daugiakriterinio sprendimų priėmimo metodu AHP, galima nustatyti kritines geležinkelio tinklo linijas, kurios stabdys eismo srautų augimą t. y. linijos pralaidumą, eismo intensyvumą bei traukinių judėjimo greitį.

Pateiktas modelis naudojant realius duomenis ir ekspertinį vertinimą gali būti naudojamas sudarant geležinkelio linijų atnaujinimo darbų (infrastruktūros, telekomunikacijų ir kt.) grafikus.

Literatūra

- [1] M. An, et al. A fuzzy reasoning and fuzzy-analytical hierarchy process based approach to the process of railway risk information: A railway risk management system. *Inform. Sci.*, **181**:3946–3966, 2011.
- [2] A. Baublys. Interaction railway and road transport in the terminal. In *Transport Means – 2010: Proceedings of the 14th International Conference*, pp. 53–57, 2010.
- [3] E. Cimren, et al. Development of a machine tool selection system using AHP. *Int. J. Adv. Man. Techn.*, **35**:363–376, 2007.
- [4] L. Liang, et al. Cross efficiency evaluation method based on weight-balanced data envelopment analysis model. *Comp. Ind. Eng.*, **63**:513–519, 2012.
- [5] Y. Luo and Y.M. Wang. A note on “A new approach for weight derivation using data envelopment analysis in the analytic hierarchy process”. *Math. Comp. Modell.*, **56**:49–55, 2012.
- [6] *Pagrindiniai geležinkelių metiniai duomenys 2011*. AB Lietuvos geležinkeliai. Adresas internete: <http://www.litrail.lt>.
- [7] L. Tao, et al. An integrated multiple criteria decision making model applying axiomatic fuzzy set theory. *Appl. Math. Modell.*, **36**:5046–5058, 2012.
- [8] E. Triantaphyllou, et al. Multi-criteria decision making: An operations research approach. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, **15**:175–186, 1998.

SUMMARY

Traffic flow forecasting model

B. Andziulienė, D. Stanelytė, D. Drungilas

The paper presents a mathematical model based on multicriteria decision making method of the Analytic Hierarchy Process for determining the critical network of railway lines, which prevented the flow of traffic growth, the line bandwidth, traffic volume and train speed. The presented model using real data and expert evaluation can be used for the renovation work schedules of railway lines (infrastructure, telecommunications, etc.).

Keywords: railway system, multicriteria decision making, AHP, traffic flow.